

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-355910

(43)Date of publication of application : 09.12.1992

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/20

(21)Application number : 03-032996

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 27.02.1991

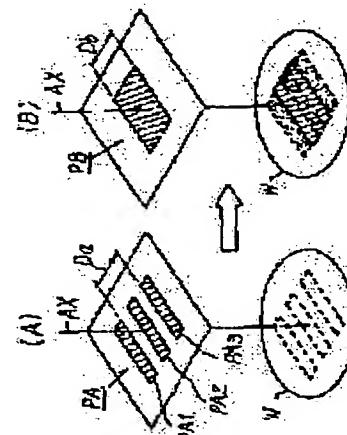
(72)Inventor : SHIRAISHI NAOMASA  
HIRUKAWA SHIGERU

## (54) MASK AND EXPOSURE METHOD AND ALIGNER

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To acquire high degree of resolution and deep depth of focus using a projection type aligner in which the distribution of illumination light, with which a reticle pattern is illuminated, is concentrated in one or more optional regions around one or more arbitrary points other than the optical axis of illumination.

**CONSTITUTION:** One of the patterns PA to be exposed superpositionally, such as three light-shielding line patterns PA1, PA2 and PA3, for example, is put in a line-and-space state. A reticle R is positioned in such a manner that an optical axis AX passes the specific point on the aforesaid pattern PA, and the first exposing operation is conducted on the resist layer of a wafer W. As the position of a plurality of injection parts 8B to 8E in an illumination optical system is optimized when the pattern PA having periodicity is projected, the degree of contrast becomes higher even when the pattern PA is microscopically formed, and the depth of focus becomes deeper.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]



[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-355910

(43)公開日 平成4年(1992)12月9日

(51) Int.Cl.*	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 01 L 21/027				
G 03 F 7/20	5 2 1	7818-2H 7352-4M 7352-4M	H 01 L 21/ 30	3 1 1 L 3 0 1 P

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全 15 頁)

(21)出願番号	特願平3-32996	(71)出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22)出願日	平成3年(1991)2月27日	(72)発明者	白石 直正 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内
		(72)発明者	蛭川 茂 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

(54)【発明の名称】 マスク及び露光方法及び露光装置

## (57)【要約】

〔目的〕 (J) レチクルパターンを照明する照明光量分布が照明光軸以外の任意の一つ以上の点をそれぞれ中心とする任意の一つ以上の領域に集中している投影型露光装置を用いることにより、高解像度および深い焦点深度を持つようとする。

〔構成〕 重ね合わせ露光すべき一方のパターンPAは、例えば3本の遮光性ラインパターンPA↓1, PA↓2, PA↓3をラインアンドスペース状にしておく。そして、このパターンPA上の特定の点に光軸AXが通るようレチクルRを位置決めしてウエハW上のレジスト層に1回目の露光を行う。周期性を持つたパターンPAの投影にあたつて、レチクルR上のパターンの周期性に合わせて照明光学系内の複数の射出部8B～8Eの位置を最適化するため、パターンPAが微細化してもコントラストが高くなり、焦点深度が深くなる化してもコントラストが高くなり、焦点深度が深くなる

【マスク 露光 方法 露光 装置 レチクル パターン 照明 照明 光量 分布 照明 光軸 任意 1個 点 中心 領域 集中 投影 露光 装置 高解像度 深い 焦点 深度 露光 基板 解像 限界 ステージ 感光 基板 重ね合せ 露光 パターン PA 3本 遮光性 線 パターン 線 論理積 スペース 光軸 AX レチクル 位置決め ウエハ W レジスト層 1回目 周期的 投影 照明 光学系 複数 射出 B 位置 最適化 微細化 コントラスト】

(2)

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】回路パターン等の原版上のパターンを、投影光学系を介して被露光基板へ露光・転写せしめる投影型露光装置を使った露光方法であって、転写すべき原版上のパターン面に対してほぼフーリエ変換の関係となる前記露光装置の照明光学系中の面内に於いて、該照明光学系の光軸以外の任意の 1 つ以上の点のそれぞれを中心とする任意の領域に、前記原版を照明するための照明光量を集中させ、前記被露光基板上の 1 つの被露光領域への露光を複数の露光に分割して行い、該複数の露光の夫々において、前記原版と前記被露光基板との前記投影光学系の光軸と垂直な面内での相対位置関係を異ならせ、前記複数の露光に於いて、前記被露光基板上の少なくとも 1 つ以上の領域は、前記複数の露光のすべてに於いて前記原版上のそれぞれ異なるパターンが重ね合わされて露光され、かつ、前記重ね合わせ露光される複数のパターンのうち、少なくとも 1 つはほぼ周期的に配列されたパターン群であることを特徴とするパターン露光方法。

【請求項 2】前記重ね合わせ露光される複数のパターンのうち、少なくとも 2 つはほぼ周期的に配列されたパターン群より成り、かつ、それらのパターンの周期又は方向性がそれぞれ異なっていることを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 3】前記ほぼ周期的に配列されたパターンは、前記投影光学系の解像限界以下程度に微細なパターン群から成り、それ以外のパターンは前記解像限界に比べて 2 倍程度以上大きなパターン、又はパターン群より成ることを特徴とする請求項 1、又は請求項 2 記載の露光方法。

【請求項 4】前記原版と前記被露光基板との前記相対的位置関係の変更は前記被露光基板を保持するステージを前記投影光学系の光軸と垂直な方向に移動させて行うことを特徴とする前記請求項 1、請求項 2、又は請求項 3 記載の露光方法。

【請求項 5】前記請求項 1 から請求項 4 に記載された露光方法を実現する露光装置。

【請求項 6】感光基板の感光層に露光すべき原画パターンを備えたマスクにおいて、前記感光層に転写可能な微細度の周期構造を持った第 1 パターンと、該第 1 パターンのうち特定の部分のみと合致し得る形状をもった第 2 パターンとを所定の間隔で近接して並置し、前記感光層への露光を少なくとも 2 回に分けて行い、1 回目の露光と 2 回目の露光の間に前記第 1 パターンと第 2 パターンの両影像と前記感光基板とを前記所定の間隔に応じた量だけ相対的に移動させて、前記第 1 パターンの影像と前記第 2 パターンの影像とを前記感光層上で重ね合わせ露光することによって、前記第 1 パターンのうち特定の部分のみのパターン形状を前記感光層に形成する如く使用することを特徴とするマスク。

【請求項 7】原画パターンを有するマスクを投影露光裝

置の投影光学系の物体面側に配置し、前記原画パターンの転写される感光基板を前記投影光学系の像面側に配置し、前記投影露光装置の照明系からの照明光を前記マスクに照射して前記原画パターンの投影像を前記感光基板に露光する方法において、前記マスクには、微細な周期構造を持った第 1 パターンと、該第 1 パターンのうち特定の部分のみと合致し得る形状をもった第 2 パターンとが所定の間隔だけずらして設けられ；前記投影露光装置の照明系は、前記マスクに対してフーリエ変換の関係に

ある面内であって、かつ光軸から前記第 1 パターンの周期性に応じて決まる量だけ離れた領域に前記照明光を集中するように設定され、前記マスクと感光基板とを相対的に位置合わせした後、前記第 1 パターンと第 2 パターンとを前記感光基板に露光する第 1 露光工程と；該第 1 露光工程の後、前記第 1 パターンと前記第 2 パターンとの所定の間隔に応じた量だけ、前記マスクの投影像と前記感光基板とを相対的にずらして、前記第 2 パターンの像と前記感光基板上にすでに露光された前記第 1 パターンの像とが重なり合うように相対的に位置合わせする工程と；前記マスク上の第 1 パターンと第 2 パターンを前記感光基板に露光する第 2 露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 8】リソグラフィーに使用する投影式の露光装置において、(a) 微細な周期構造を持った第 1 パターンと、該第 1 パターンのうち特定の部分のみと合致し得る形状をもった第 2 パターンとが所定の間隔だけずらして形成されたマスクを、前記投影式の露光装置内の投影光学系の物体面側に保持するマスクステージと；

(b) 前記投影光学系の像面側に感光基板を保持する基板ステージと；

(c) 前記第 1 パターンの投影像と前記第 2 パターンの投影像が、前記感光基板上の同一位置に拝一的に投影され得るように、前記投影像と前記感光基板との相対位置をシフトさせるシフト手段と；

(d) 前記マスクを照明する照明系であって、該照明系は光源と複数の光学素子とで構成され、該複数の光学素子によって前記投影光学系の瞳面とほぼ共役なフーリエ変換面を有し、該照明系はさらに、前記光源からの照明光を、前記フーリエ変換面内の光軸から前記マスクの第 1 パターンの周期に応じた量だけ離れた複数の領域の夫々に集中させる光分配器を備え；

(e) 前記照明系からの照明光を前記マスクに照射して、前記第 1 パターンと第 2 パターンの各投影像の前記感光基板への露光動作回数を少なくとも 2 回に分けるとともに、各露光動作の間に前記シフト手段を作動させる露光動作制御手段を備え、前記第 1 パターンのうち特定の部分のみのパターン形状を前記感光基板上に形成することを特徴とする露光装置。

(3)

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-355910

(43)公開日 平成4年(1992)12月9日

(51) Int.Cl. H 01 L 21/027 G 03 F 7/20	識別記号 5 2 1	序内整理番号 7818-2H 7352-4M 7352-4M	F I H 01 L 21/ 30	技術表示箇所 3 1 1 L 3 0 1 P
--	---------------	---	----------------------	------------------------------

審査請求 未請求 請求項の数8(全15頁)

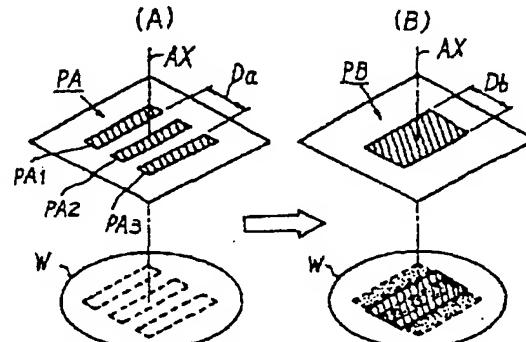
(21)出願番号 特願平3-32996	(71)出願人 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22)出願日 平成3年(1991)2月27日	(72)発明者 白石 直正 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内
	(72)発明者 蛭川 茂 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

(54)【発明の名称】マスク及び露光方法及び露光装置

## (57)【要約】

【目的】本発明は、周期性の乏しい孤立バターンを感光基板上に高解像度で、かつ大きな焦点深度を伴って露光する方法、及び装置を得ることを目的とする。

【構成】マスク上の近接した位置に周期構造の第1バターンと、その第1バターンの一部と合致する形状の第2バターンとを並置し、投影露光する際、第1バターンの像と第2バターンの像とを重ね合わせるべくマスクと感光基板の相対位置を変えて多重露光する。



(4)

(2)

特開平4-355910

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回路パターン等の原版上のパターンを、投影光学系を介して被露光基板へ露光・転写せしめる投影型露光装置を使った露光方法であって、転写すべき原版上のパターン面に対してほぼフーリエ変換の関係となる前記露光装置の照明光学系中の面内に於いて、該照明光学系の光軸以外の任意の1つ以上の点のそれぞれを中心とする任意の領域に、前記原版を照明するための照明光量を集中させ、前記被露光基板上の1つの被露光領域への露光を複数の露光に分割して行い、該複数の露光の夫々において、前記原版と前記被露光基板との前記投影光学系の光軸と垂直な面内の相対位置関係を異ならせ、前記複数の露光に於いて、前記被露光基板上の少なくとも1つ以上の領域は、前記複数の露光のすべてに於いて前記原版上のそれぞれ異なるパターンが重ね合わされて露光され、かつ、前記重ね合わせ露光される複数のパターンのうち、少なくとも1つはほぼ周期的に配列されたパターン群であることを特徴とするパターン露光方法。

【請求項 2】 前記重ね合わせて露光される複数のパターンのうち、少なくとも2つはほぼ周期的に配列されたパターン群より成り、かつ、それらのパターンの周期又は方向性がそれぞれ異なっていることを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項 3】 前記ほぼ周期的に配列されたパターンは、前記投影光学系の解像限界以下程度に微細なパターン群から成り、それ以外のパターンは前記解像限界に比べて2倍程度以上大きなパターン、又はパターン群より成ることを特徴とする請求項1、又は請求項2記載の露光方法。

【請求項 4】 前記原版と前記被露光基板との前記相対的位置関係の変更は前記被露光基板を保持するステージを前記投影光学系の光軸と垂直な方向に移動させて行うことを特徴とする前記請求項1、請求項2、又は請求項3記載の露光方法。

【請求項 5】 前記請求項1から請求項4に記載された露光方法を実現する露光装置。

【請求項 6】 感光基板の感光層に露光すべき原版パターンを備えたマスクにおいて、前記感光層に転写可能な微細度の周期構造を持った第1パターンと、該第1パターンのうち特定の部分のみと合致し得る形状をもった第2パターンとを所定の間隔で近接して並置し、前記感光層への露光を少なくとも2回に分けて行い、1回目の露光と2回目の露光の間に前記第1パターンと第2パターンの両影像と前記感光基板とを前記所定の間隔に応じた量だけ相対的に移動させて、前記第1パターンの影像と前記第2パターンの影像とを前記感光層上で重ね合わせ露光することによって、前記第1パターンのうち特定の部分のみのパターン形状を前記感光層に形成する如く使用することを特徴とするマスク。

【請求項 7】 原版パターンを有するマスクを投影露光装置の投影光学系の物体面側に配置し、前記原版パターンの転写される感光基板を前記投影光学系の像面側に配置し、前記投影露光装置の照明系からの照明光を前記マスクに照射して前記原版パターンの投影像を前記感光基板に露光する方法において、前記マスクには、微細な周期構造を持った第1パターンと、該第1パターンのうち特定の部分のみと合致し得る形状をもった第2パターンとが所定の間隔だけずらして設けられ；前記投影露光装置の照明系は、前記マスクに対してフーリエ変換の関係にある面内であって、かつ光軸から前記第1パターンの周期性に応じて決まる量だけ離れた領域に前記照明光を集中するように設定され、前記マスクと感光基板とを相対的に位置合わせした後、前記第1パターンと第2パターンとを前記感光基板に露光する第1露光工程と；該第1露光工程の後、前記第1パターンと前記第2パターンとの所定の間隔に応じた量だけ、前記マスクの投影像と前記感光基板とを相対的にずらして、前記第2パターンの像と前記感光基板上にすでに露光された前記第1パターンの像とが重なり合うように相対的に位置合わせする工程と；前記マスク上の第1パターンと第2パターンを前記感光基板に露光する第2露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 8】 リソグラフィーに使用する投影式の露光装置において、(a) 微細な周期構造を持った第1パターンと、該第1パターンのうち特定の部分のみと合致し得る形状をもった第2パターンとが所定の間隔だけずらして形成されたマスクを、前記投影式の露光装置内の投影光学系の物体面側に保持するマスクステージと；

(b) 前記投影光学系の像面側に感光基板を保持する基板ステージと；

(c) 前記第1パターンの投影像と前記第2パターンの投影像が、前記感光基板上の同一位置に逐一的に投影され得るように、前記投影像と前記感光基板との相対位置をシフトさせるシフト手段と；

(d) 前記マスクを照明する照明系であって、該照明系は光源と複数の光学素子とで構成され、該複数の光学素子によって前記投影光学系の像面とほぼ共役なフーリエ変換面を有し、該照明系はさらに、前記光源からの照明光を、前記フーリエ変換面内の光軸から前記マスクの第1パターンの周期に応じた量だけ離れた複数の領域の夫々に集中させる光分配器を備え；

(e) 前記照明系からの照明光を前記マスクに照射して、前記第1パターンと第2パターンの各投影像の前記感光基板への露光動作回数を少なくとも2回に分けるとともに、各露光動作の間に前記シフト手段を作動させる露光動作制御手段を備え、前記第1パターンのうち特定の部分のみのパターン形状を前記感光基板上に形成することを特徴とする露光装置。

50 【発明の詳細な説明】

(5)

(3)

特開平4-355910

3

4

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体等の回路パターン形成技術、特にリソグラフィー工程で使われるマスク、あるいはそのマスクを使った投影露光方法、及び露光装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体等の回路パターン形成に際して、現在の微細化したLSIの場合、実際のパターンの5倍から10倍に拡大された遮光部分と透過部分とからなる原版（マスク、レチクル）を、縮小投影型露光装置を用いて、半導体基板（ウェハ）等の表面に塗布された感光性膜（レジスト）上に結像し、これを感光する方法がとられる。

【0003】従来、使用されるレチクル上には、転写すべき回路パターンが、投影型露光装置の倍率だけ拡大されて描画されており、従ってウェハ上には回路パターンが所望の大きさとなって転写される。従来この種の装置においては、図15に示す如く照明光束L10は、照明光学系の瞳面（フーリエ変換面）付近に、投影光学系PLの瞳ePとほぼ共役に配置されたほぼ円形の開口絞り100により照明光学系の光軸を中心とする円形領域内を通る光束L11となってレチクル（マスク）Rを照明していた。ここで、光束を表す実線は1点から出た光の\*

$$P = \lambda / NA$$

このピッチPがウェハW上に転写可能となるパターンのレチクル上での最小ピッチである。

【0007】従って最小パターン幅としては、この半分の $0.5 \times \lambda / NA$ 程度となるが、実際には焦点深度との関係上、 $0.6 \times \lambda / NA$ 程度が最小パターン幅となっている。これを投影光学系の像面（ウェハW）側に直すと $0.6 \times \lambda / NA$ （NA<sub>p</sub>は投影光学系のウェハ側開口数であり、 $NA_p = B \cdot NA$ 、Bは投影光学系の縮小率）程度となる。

【0008】以後この値を投影光学系の解像限界と呼ぶ。この投影光学系自体の解像限界以上に微細なパターンを転写するために、レチクルパターン自体を変更して解像度を高めようという方法も提案されている。これは位相シフトと呼ばれる方法であり、レチクル上に他の部分とは透過光の位相がπだけずれる、いわゆる位相シフター膜を形成し、位相シフター部と、他の部分との透過光の干渉効果（特に相殺効果）を利用して解像度、及び焦点深度を高めるものである。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来の投影型露光装置においては、ウェハ上に転写可能な回路パターンの微細度（サイズ）は、露光波長λと、投影光学系のウェハ側開口数をNA<sub>p</sub>として、 $0.6 \times \lambda / NA$ 程度が限界であった。これは、光が波動である為に生じる回折現象の為であり、従って露光波長をより短くすれば解像度は原理的には向上する。

\*主光線を表している。

【0004】このとき照明光学系の開口数と投影光学系PLのレチクル側開口数の比、所謂 $\sigma$ 値は開口絞り100により決定され、その値は0.3～0.6程度が一般的である。照明光束L11はレチクルRにバーニングされたパターンPPにより回折され、パターンPPからは0次回折光D<sub>0</sub>、+1次回折光D<sub>1</sub>、-1次回折光D<sub>-1</sub>が発生する。それぞれの回折光は投影光学系PLにより集光され、ウェハ（試料基板）W上に干渉模を発生させる。この干渉模がパターンPPの像である。

【0005】このとき0次回折光D<sub>0</sub>と±1次回折光D<sub>1</sub>、D<sub>-1</sub>のなす角θは $\sin \theta = \lambda / P$ （λ：露光波長、P：パターンピッチ）により決まる。パターンピッチが微細化すると $\sin \theta$ が大きくなり、 $\sin \theta$ が投影光学系のレチクル側開口数（NA<sub>p</sub>）より大きくなると±1次回折光D<sub>1</sub>、D<sub>-1</sub>は投影光学系PLに入射できなくなる。

【0006】このときウェハW上には0次回折D<sub>0</sub>のみしか到達せず干渉模は生じない。つまり $\sin \theta > NA_p$ となる場合にはパターンPPの像は得られず、パターンPPをウェハW上に転写することができなくなってしまう。以上より従来の露光装置においては、 $\sin \theta = \lambda / P = NA_p$ となるピッチPは次式で得られ、

$$\dots\dots (1)$$

【0010】しかし波長が200nmより短くなると、これを透過する適当な光学材料が存在せず、また空気による吸収が発生するなど問題点が多い。また開口数NA<sub>p</sub>は現在、既に技術的限界にあり、これ以上の大NA化は望めない状況である。また、位相シフト法を使用した露光では解像度の向上、及び焦点深度の増大は可能であるが、位相シフト法で使用する位相シフター付レチクルは、製造工程が複雑で、従って欠陥の発生率が高く、また製造コストもきわめて高価となる。また、検査方法及び修正方法も未だ確立されていないなど問題点が多く、実用化には多くの問題が残る。

【0011】現在のLSI製造工程においては、成膜、フォトリソグラフィー（回路パターン転写）、エッティングのサイクルが20回程度繰り返されるのが普通である。また各膜の膜厚は0.05μmから1μm程度であり、従って工程が進むにつれウェハ上には数μm程度の段差が形成され、この上部と下部に同時にバーニングを行なうには、焦点深度の大きな投影型露光方法が必要になる。

【0012】一方で、焦点深度を拡大する1つの手法として、多重焦点露光法も知られている。この露光方法による深度増大法においては、特に単独で存在するパターン（パターンサイズに対してパターン以外のサイズが1:3程度以上あるパターン、以後孤立パターンと略す）に対して、通常の露光方法に比べ、大きな実用上の焦点深度が得られるが、解像度を向上することは原理的

(6)

(4)

特開平4-355910

5

に不可能であった。

【0013】本発明はこの様な現状に鑑みてなされたもので、従来と同じ遮光部と透過部から成るレチクル（マスク）を使用し、かつ高解像度及び深い焦点深度を得られる露光方法、及び装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的の為に本発明においては、レチクルパターンのフーリエ変換面となる照明光学系中の面内に於いて、前記レチクルパターンを照明する照明光量分布が前記照明光軸以外の任意の一つ以上の点をそれぞれ中心とする任意の1つ以上の領域に集中している投影型露光装置を使用するものとした。

【0015】また、被露光基板（半導体ウェハ等）の表面に形成された感光性膜の露光は複数のサブ露光に分割して行い、かつ、この複数のサブ露光のそれぞれに於いて、前記レチクルと前記被露光基板との位置関係は投影光学系の光軸と垂直な面内に於いて、相対的に異なる位置となるようにした。このときのレチクルとウェハとの相対位置関係は、ウェハ上の少なくとも1つ以上の領域が、前記複数のサブ露光の全てに於いて、前記レチクル上のそれぞれ異なるパターンの重ね合わせ露光となるものとした。

【0016】また、このとき上記の重ね合わせ露光される複数のパターンのうち、少なくとも1つはほぼ周期的に配列されたパターン群より成るものとした。或いは、上記重ね合わせ露光される複数のパターンのうち少なくとも2つはほぼ周期的に配列されたパターン群より成るものとし、かつ、それらの周期的なパターンの周期又は方向性はそれぞれ異なるものとした。

【0017】さらに上記周期的パターンを形成するパターン群は前記投影光学系の解像限界以下程度に微細なものであり、それ以外のパターンは上記解像限界の2倍以上程度に大きなパターン又はパターン群より成るものとした。また、前記複数のサブ露光のそれぞれに於いて、前記レチクルと前記被露光物（半導体ウェハ等）との前記相対的位置関係の変更は、前記被露光物を保持するステージの前記投影光学系の光軸に対する移動により成るものとした。

【0018】

【作用】本発明で使用するレチクルパターンとフーリエ変換の関係となる照明光学系中の面内に於いて、レチクルを照明する照明光束が光軸以外の1点以上を中心とする1つ以上の領域に集中した投影型露光装置を使用すると、特に周期的なレチクルパターンに対して、解像度及\*

$$\sin(\theta, +\psi) - \sin\psi = \lambda/P$$

$$\sin(\theta, +\psi) - \sin\psi = \lambda/P$$

である。

【0022】仮にいま+1次回折光D<sub>r</sub>、-1次回折光D<sub>l</sub>の両方が投影光学系PLに入射しているとする。レチクルパターンPPの微細化に伴って回折角が増大する

6

\*び焦点深度を増大することができる。

【0019】以下、図面を用いてこの原理について説明する。従来の投影露光装置では、レチクルに対して上方から種々の入射角で入射する露光光が無差別に用いられ、レチクルパターンで発生した0次、±1次、±2次、…の各回折光がほぼ無制限に投影光学系を透過してウェハ上に結像していた。これに対して、本発明の投影露光装置では、図16の如く照明光L10から照明光学系中のレチクルパターン面と略フーリエ変換の関係となる面内に於いて、照明光学系の光軸AXが通る中央部以外に透過部を有する遮光板100'を設け、照明光学系の光軸上を通らない光束、つまりレチクルパターンに対して特定の方向と角度で斜めに入射する任意の2つの光束L12、L13、或いは2n本（nは自然数）の光束を形成させ、レチクルパターンPPを照明する。レチクルパターンPPは通常、光透過部と遮光部とが所定のピッチで繰り返し形成された周期構造を有するパターンを多く含んでいる。そしてレチクルパターンPPで発生した0次回折光と±1次回折光とを投影光学系PLを介してウェハW上に結像させる。

【0020】すなわち、レチクルパターンPPの微細度に応じてパターンPPに所定の方向と角度で2本、或いは2n本の光束を入射させることによって、最適な0次回折光と±1次光を発生させることにより従来では十分に解像できなかったパターンをウェハW上に高コントラストに、かつ、大きい焦点深度を持って結像させることが可能となる。ここで、レチクルRに入射する光束L12、L13は、前述の遮光板100'によって投影光学系PLの光軸AXに対して対称に所定の角度だけ傾いて入射する主光線を有する2本の光束に変換されたものである。ここでも、光束を表す実線は1点から出た光の主光線を表している。まず図16に基づいて照明光L12による回折光について説明する。照明光L12はレチクルパターンPPにより回折され0次回折光D<sub>0</sub>、+1次回折光D<sub>r</sub>、-1次回折光D<sub>l</sub>を発生する。しかしながら、照明光L12は投影光学系PLの光軸AXに対して角度だけ傾いてレチクルパターンPPに入射するので、0次回折光D<sub>0</sub>もまた投影光学系PLの光軸AXに対して角度だけ傾いた方向に進行する。ここで、投影光学系PLは両側テレセントリック系とする。

【0021】従って、+1次回折光D<sub>r</sub>は光軸AXに対してθ<sub>r</sub>、+ψの方向に進行し、-1次回折光D<sub>l</sub>は光軸AXに対してθ<sub>l</sub>、-ψの方向に進行する。このときθ<sub>r</sub>、θ<sub>l</sub>はそれぞれ

..... (2)

..... (3)

と先ずθ<sub>r</sub>、+ψの方向に進行する+1次回折光D<sub>r</sub>が投影光学系PLを透過できなくなる（sin(θ<sub>r</sub> + ψ) > NA<sub>PL</sub>となる）。しかし照明光L12が光軸AXに対して角度だけ傾いて入射している為、このときの回折角でも-1

(7)

(5)

特開平4-355910

7

次回折光D1は、投影光学系PLを透過可能となる ( $s \sin(\theta_0 + \psi) < NA_1$  となる)。

【0023】従って、ウェハW上には0次回折光D<sub>0</sub>と-1次回折光D<sub>1</sub>の2光束による干渉縞が生じる。この干渉縞はレチクルバターンPPの像でありレチクルバターンPPが1:1のラインアンドスペースの時、約90%のコントラストとなり、表面にレジストが塗布されたウェハW上にバターンPPをバーニングすることが可能となる。このときの解像限界は、

$$s \sin(\theta_0 + \psi) = NA_1$$

となるときであり、従って

$$\begin{aligned} NA_1 + s \sin \psi &= \lambda / P \\ P &= \lambda / (NA_1 + s \sin \psi) \end{aligned}$$

がレチクル上の転写可能な最小バターンのピッチである。

【0024】今  $s \sin \psi$  を  $0.5 \times NA_1$  程度に定める※

$$P = \lambda / (NA_1 + 0.5NA_1) = 2\lambda / 3NA_1 \quad \dots (6)$$

である。一方、図15に示したように、照明光が投影光学系PLの光軸AXを中心とする円形領域内を通る光束である従来の露光装置の場合、解像限界は(1)式に示したように  $P = \lambda / NA_1$  であった。従って、従来の露光装置より高い解像度が実現できる。★

$$\begin{aligned} s \sin(\theta_{01} + \psi) - s \sin \psi &= \lambda / P \\ s \sin(\theta_{01} - \psi) + s \sin \psi &= \lambda / P \end{aligned}$$

であり、解像限界は  $s \sin(\theta_{01} - \psi) = NA_1$  のときである。

【0026】従って、照明光L12の場合と同様に(5)式に示すバターンピッチが転写可能なバターンの最小ピッチとなる。照明光L12とL13の両方を使うことにより投影光学系の光軸に対して光量重心が偏らないようにしている。次に、レチクルバターンに対して特定の入射方向と入射角で露光光を入射して、0次回折光と1次回折光とを用いてウェハ上に結像バターンを形成することにより、焦点深度が大きくなる理由を説明する。

【0027】ウェハが投影光学系の焦点位置に一致している場合には、レチクル上の1点を出でてウェハ上的一点に達する各回折光は、投影光学系のどの部分を通るものであってもすべて等しい光路長を有する。このため従来のように0次回折光が投影光学系の瞳面のほぼ中心を貫通する場合でも、0次回折光とその他の回折光とで光路長は相等しく、相互の波面収差も0である。しかし、ウェハが投影光学系の焦点位置に一致していない場合(デフォーカスを起こした場合)、斜めに入射する高次の回折光の光路長は光軸附近を通る0次回折光に対して焦点前方(投影光学系から遠ざかる方)では短く、焦点後方(投影光学系に近づく方)では長くなりその差は入射角の差に応じたものとなる。従って、0次、1次、…の各回折光は相互に波面収差を形成して焦点位置の前後における結像バターンのぼけを発生する。この波面収差ΔWは、次式、

$$\Delta W = 1/2 \times (NA)^2 \cdot \Delta f$$

Δf : デフォーカス量

NA : 瞳面上の中心からの距離を開口数で表した値

8

\*バターンPPが1:1のラインアンドスペースの時、約90%のコントラストとなり、表面にレジストが塗布されたウェハW上にバターンPPをバーニングすることが可能となる。このときの解像限界は、

$$\dots (4)$$

$$\dots (5)$$

がレチクル上の転写可能な最小バターンのピッチである。

は

★【0025】照明光L13についても同様に考えて、+1次光D<sub>r1</sub>は光軸AXに対して  $\theta_{01} - \psi$  の方向に進行し、-1次回折光D<sub>l1</sub>は光軸AXに対して  $\theta_{01} + \psi$  の方向に進行する。D<sub>l1</sub>は0次回折光を表している。このとき  $\theta_{01}, \theta_{01}$  はそれぞれ

$$\dots (7)$$

$$\dots (8)$$

で表され、従って、瞳面のほぼ中心を貫通する0次回折光( $\Delta W = 0$ )に対して、瞳面の周囲、半径  $r_1$  ([NA]を単位とする)を通る1次回折光では、

$\Delta W = 1/2 \times r_1^2 \cdot \Delta f$  の波面収差をもつこととなり、焦点位置の前後での解像度、すなわち焦点深度を低くしている。

【0028】一方、本発明で使用する投影型露光装置の場合、例えば図16の如く、 $\theta_0 = 2\psi$  となる入射角でレチクルバターンPPに2つの光束を入射した場合、バターンPPからの0次回折光D<sub>0</sub>と1次回折光D<sub>1</sub>とが瞳面e-p上でほぼ中心から等距離となる位置(共に半径  $r_1$  とする)を通りようになり、0次回折光D<sub>0</sub>と1次回折光D<sub>1</sub>の波面収差は相等しく、 $\Delta W = 1/2 \times r_1^2 \cdot \Delta f$  となり、0次回折光に対する1次回折光の収差は零となって、ある範囲内ではデフォーカスによるぼけが無くなる。従ってその分だけ従来装置よりも焦点深度が大きくなることになる。

【0029】以上、本発明で使用する投影型露光装置では、特に周期的なバターンについて、解像度及び焦点深度の増大が可能である。本発明に於いては、レチクル上の異なる複数のバターンを、ウェハ上の同一の部分に重ね合わせ露光して1つの回路バターンを形成する。従つて、半導体ウェハ等の被露光基板上に形成されるバターンは、複数のレチクルバターンの合成像となる。この合成像は、各複数のレチクルバターンを、その透過率に応じて“0”部(遮光部)と、“1”部(透過部)とすれば、これら複数のレチクルバターンの論理和として形成される。すなわち、各レチクルバターンのすべてが“0”部(遮光部)の部分のみが、他の部分と異なつた状態となる。使用する感光性膜(フォトレジスト)が

50

(8)

(6)

特開平4-355910

9

10

ボジ型（光照射部が除去される）であれば、重ね合わせるレチクルパターンのすべてが“0”部となる部分のみレジストが残り、他部はレジストが除去された、いわゆる孤立ラインパターン、あるいは、孤立アイランドパターンが形成される。

【0030】使用的するフォトレジストがネガ型（光照射部が残る）であれば、いわゆる孤立スペースパターン、あるいは、孤立ホールパターンが形成される。このとき、重ね合わせられる複数のレチクルパターンのうち、少なくとも1つはほぼ周期的な配列を有するパターンであり、かつ、使用的する投影型露光装置の照明光学系は、前述の如く、このほぼ周期的な配列から成るパターンについて、解像度及び焦点深度を、最大とするよう調整されているものとする。また、重ね合わせにより形成すべき回路パターンのうち、特に重要であるものは周期的配列から成るパターン、あるいは周期的配列から成る複数のパターンからの合成で作ることにより、合成像の実質的な焦点深度の増大が可能となる。

【0031】あるいは、同一の投影光学系を使用しても、線幅の太いパターンほど焦点深度が深くなる性質を利用し、上記の周期的配列から成るパターン以外のパターンの線幅は、投影光学系の解像限界の2倍程度以上とすれば、重ね合わせるレチクルパターンのすべてにおいて、投影像の焦点深度を十分に大きくとることが可能となる。

### 【0032】

【実施例】図1は本発明で使用する投影型露光装置の実施例であって、水銀ランプ1を発した照明光（i線、又はg線）は格円鏡2で第2焦点に集光される。第2焦点には照明光の遮断、解放を行うシャッター3が配置され、モータ4によって駆動される。シャッター3を通った照明光はリーレンズ（コリメータレンズ）5ではば平行光束にされ、フライアイレンズ6に入射する。フライアイレンズ6の各エレメントレンズの射出端の夫々に形成される2次光源（点光源像の集合）からの各光束は、リーレンズ7によって集光され、ミラーM1で反射された後、光分割器8の入射部8Aに重畳される。従って、入射部8Aの位置で、照明光束の強度分布はほぼ均一なものになっている。図1ではフライアイレンズ6の射出側に現れる点光源像のうち光軸上の1つの点光源からの光束のみを代表的に図示した。さて、光分割器8は入射部8Aからの照明光を複数の射出部8B、8Cへほぼ等しい強度で分割する。射出部8B、8Cの各断面積はともに等しいものとし、その中心点は光軸AXから所定量だけ偏心しておく。この光分割器8の詳しい構造については後で述べる。尚、射出部8B、8Cは、投影露光をケーラー照明で行うために、投影レンズPLの射出瞳eP（又は入射瞳）と共に面9、即ちフーリエ変換面内に配置される。

【0033】射出部8B、8C上的一点から射出した発

散光束は第1リレーレンズ（コリメータレンズ）10によってほぼ平行光束となってレチクルブラインドARBを一様な照度で照明する。図1では簡略のために、射出部8B、8C上的一点から発散した光束の進行状態のみを示してある。レチクルブラインドARBは4辺のエッジ位置を駆動部11によって任意に調整することによって、レチクルR上の照明領域を制限するものである。レチクルブラインドARBによって決まる矩形開口部を通った照明光束には、図1の場合、基本的には光軸AXにに関して対称的に傾いた複数（射出部8B、8C……の数に対応）の平行光束だけが含まれ、光軸AXと平行に進む平行光束は存在しない。これら平行光束は第2リレーレンズ12で集光され、ミラーM2で反射された後、主コンデンサーレンズ13に入射して再び互いに入射角が異なる複数の平行光束となってレチクルRを照射する。この際、レチクルRのパターン面（投影レンズPLと対向する面）は、主コンデンサーレンズ13と第2リレーレンズ12との合成系に関してレチクルブラインドARBと共にになっているため、レチクルR上にはレチクルブラインドARBの矩形開口像が投影されることになる。

【0034】レチクルRの透明部を通った照明光は投影レンズPLを介してウェハW上に投影され、フォトレジスト層にレチクルRのパターン像が結像される。ここで図1のレチクルブラインドARBからウェハWまでの光路中に示した破線は、瞳共役を意味する光線である。先に述べたように、本実施例ではレチクルRを対称的に傾いた少なくとも2光束で照明することによって、通常のレチクルパターン構成であっても、解像力と焦点深度とを高めるものであり、この機能を達成するために新規に設けられたものが光分割器8である。

【0035】ここで図2を参照して、照明光束の詳細な振る舞いについて説明する。図2は図1中の光分割器8の2つの射出部8B、8CからレチクルRまでの系を模式的に表したものであり、特に射出部8B側の照明光束の進み方を示したものである。まず射出部8Bの射出端の中心が光軸AXから△Hだけ偏心しているものとする。そして射出端の両端の点P1、P2から発生した光束の夫々がレチクルRまで進む様子を実線で示した。また図2中の光路内に示した破線L1、L2は、それぞれ点P1、P2からの光束の1本の光線を表し、瞳空間では光軸AXと平行になるものとする。この図2から明らかのように、点P1、P2は第2リレーレンズ12と主コンデンサーレンズ13との間の瞳空間内の面EP'で点P1'、P2'として結像する。従って、面EP'は面9と共に役であり、同様にフーリエ変換面である。さて、点P1（点P1'）からの光束はレチクルR上ではほぼ平行光束となって一定領域内を照射し、点P2（点P2'）からの光束もほぼ平行光束となって一定領域内を照射する。このとき、レチクルR上に達する2つの平

(9)

(7)

特開平4-355910

11

行光束は角度 $\Delta\theta$ だけ入射角がずれている。この角度 $\Delta\theta$ は面9内での点P<sub>1</sub>と点P<sub>2</sub>のずれ、すなわち射出部8Bの実効的な光源としての大きさ（又は断面積）に依存して決まるもので、射出部8Bの断面積が限りなく小さくなれば角度 $\Delta\theta$ も限りなく小さくなる。しかしながら、実際には射出部8Bの射出端に形成される光源像には実用上ある程度の大きさ（ただし瞳径よりは十分に小さい）があり、角度 $\Delta\theta$ を完全に等にすることは難しく、また完全に等にする必要はない。また、射出部8Bの端面（光源像）は2次元的な大きさを持っているため、角度 $\Delta\theta$ は図2中の紙面内の方向以外に紙面と垂直な方向にも存在する。そして、先に図16で述べたように、射出部8Bからの光束の中心線は光軸AXに対して角度 $\varphi$ だけ傾いており、この角度 $\varphi$ は距離 $\Delta H$ と関連して、 $\Delta H = m \cdot s \sin \varphi$ （ただし $m$ は定数）の関係にある。また、一例として、光軸AXに関して対称に配置された他の射出部8Cからの照明光束の振る舞いも、射出部8Bからの光束を光軸AXを中心に折り返したようになる。

【0036】再び図1を参照して装置の構成を説明する。ウェハWは2次元に移動するウェハステージWST上に載置され、モータ20によって駆動される。ウェハステージWSTの座標位置はステージWST上の移動鏡と投影レンズPLの下端に取り付けられた固定鏡との相対距離をレーザビームを用いた干渉計21によって逐次モニターされる。

【0037】一方、レチクルRも2次元に駆動するレチクルステージRST上に載置され、不図示のモータ等によって駆動される。レチクルRの光軸AXに対するアライメントは、レチクルアライメント系22によって行われ、レチクルRとウェハWの直接的なアライメント（ダイ・バイ・ダイアライメント）はTTR（スルー・ザ・レチクル）アライメント系23によって行われる。さらにウェハWの単独のアライメントは、投影レンズPLを介してウェハW上のマークを検出する TTL（スルー・ザ・レンズ）アライメント系24、或いは投影レンズPLの視野に接近した位置で投影レンズPLを介することなくウェハW上のマークを検出するOFF-AXIS（オフ・アキシス）アライメント系25によって行われる。各アライメント系22、23、24、25からのアライメント信号は制御装置30によって統括的に処理され、ウェハステージWST、又はレチクルステージRSTの精密な位置決めに使われる。この制御装置30は、シャッター3の開閉用のモータ4、光分割器8の射出部8B、8Cの位置を調整するモータ（不図示）、レチクルブライドARBの駆動部11、及びウェハステージWSTの駆動用のモータ20等の制御も行う。尚、図1中には示していないが、水銀灯1から主コンデンサーレンズ13までの照明系の光路中の適当な位置には、レチクルRへの照明光量（露光量）を検出する測光素子が設

けられ、積分回路と組み合わせることで、シャッター3を適正露光量で閉じる自動露光制御が行われる。

【0038】次に、図3、図4を参照して、光分割器8の詳細な構成について説明する。図3は光分割器8を横から見た様子を示し、図4は、図3を光軸AXの方向から見た図である。入射部8Aからの光束は光ファイバー80によって4つに分割され、それぞれ4つの射出部8B、8C、8D、8Eに導かれる。4つの射出部8B、8C、8D、8Eの夫々は、瞳共役面9上の瞳像範囲9A内に位置するように可変長支持棒81B、81C、81D、81Eによって支持される。そして4本の支持棒81B～81Eは、環状のガイド83に沿って円周方向に移動可能な可動部材82B、82C、82D、82Eの夫々に結合される。4本の支持棒81B～81Eは、各射出部8B～8Eを光軸AXに対して放射方向に移動させる。これら支持棒81B～81Eと可動部材82B～82Eとはモータによって駆動される。尚、入射部8Aの光ファイバーを保持する金具は、光軸AXを中心として自在に回転できるように構成され、4つの射出部8B～8Eの回動によって生じる光ファイバー80のストレスを低減する。

【0039】本実施例で使用する装置では、4つの射出部8B～8Eを設けたが、その数は4つに限定されるものではなく、2つ（原理的には1つ）以上であればよい。また、本実施例では照明光束の分割を光ファイバーにより行なったが、他の部材、例えば回折格子や多面プリズムなどを用いても良い。また光分割器8よりレチクルR側に、さらに別のフライアイレンズを追加しても良い。このとき、フライアイレンズは単独のものであっても複数のフライアイレンズ群より成っていても良い。

【0040】また、投影レンズPLはここでは屈折系としたが反射系であっても良く、また反射屈折系であってもよい。またその投影倍率は任意でよいが、微細なパターンの露光・転写の為には縮小系であることが望ましい。さらに、光源として水銀ランプを使用したが、他の光源、例えば輝線ランプやレーザー光源等であってもかまわない。

【0041】次に本発明による方法で使用するレチクルパターンの原理的な一例と露光方法について、図5を参考して説明する。図5は、本発明による方法で孤立ラインパターン（ポジ型レジスト使用時）、あるいは孤立スペースパターン（ネガ型レジスト使用時）を形成する為の模式的なパターン例を示す。まず図5（A）に示すように、重ね合わせ露光すべき一方のパターンPA<sub>1</sub>は、一例として3本の遮光性ラインパターンPA<sub>11</sub>、PA<sub>12</sub>、PA<sub>13</sub>をラインアンドスペース状（デューティ1:1）にしておく。そして、このパターンPA<sub>1</sub>（レチクル）上の特定の点に光軸AXが通るようにレチクルRを位置決めして、ウェハW上のレジスト層に1回目の露光を行う。この図5（A）の場合、本来ウェハW上に形成すべ

(10)

(8)

特開平4-355910

13

き孤立ラインパターンは遮光性パターンPA<sub>1</sub>である。図5(A)のように周期性を持ったパターンPAの投影にあたって、図1に示した装置は極めて有効である。先にも述べた通り、図1の装置はレチクルR上のパターンの周期性に合わせて照明光学系内の複数の射出部8B～8Eの位置を最適化するため、パターンPAが微細化してもコントラストが高く(つまり解像度が高く)なり、焦点深度が深くなるといった特徴がある。もし仮に、ウェハW上に形成すべき本来の孤立ラインパターンPA<sub>1</sub>のみをレチクルR上に設けて、図1の装置で投影露光を行なっても、ラインパターンPA<sub>1</sub>のみでは±1次回折成分がほとんど発生しないため、十分な解像は望めない。すなわち、図5(A)に示した両脇のラインパターンPA<sub>1</sub>、PA<sub>2</sub>は、パターンPAに全体として周期性を与える為のダミーパターンとして作用する。

【0042】さて、図5(A)の1回目の露光時のレジ\*

$$\sin 2\phi = \lambda / 5 \cdot P = 0.365 \times 10^{-6} / (5 \times 0.6 \times 10^{-6}) \\ \approx 0.122$$

従って入射角φは約3.5°になる。

【0044】次に図5(B)に示すように重ね合わせ露光すべき他方のパターンPBをパターンPAの代りに配置してウェハW上の同一位置に2回目の露光を行う。このとき、パターンPBの幅D<sub>b</sub>は、先のパターンPAの両脇のラインパターンPA<sub>1</sub>とPA<sub>2</sub>の間隔D<sub>a</sub>よりも狭く、かつラインパターンPA<sub>1</sub>の線幅よりは大きく定められている。すなわち、パターンPBはウェハW上に潜像として形成されたラインパターンPA<sub>1</sub>の像のみを遮光し、その周辺は全て透過部とするような形状、大きさに定められている。従って、図5のようなパターン形状の場合、ラインパターンPAのピッチPから、パターンPBの幅D<sub>b</sub>は $0.5P < D_b < 1.5P$ の範囲に設定される。このパターンPBのみによってレジスト層に与えられる露光量分布は、図6(B)に示すようにIBとなる。ここで2回目の露光の際も、レジスト層には最小露光量E<sub>t</sub>hよりも大きな露光量が与えられたものとする。こうしてウェハW上に2重露光が行われるとレジスト層には図6(A)の分布IAと図6(B)の分布IBとの合成された光量分布ISが図6(C)に示すように与えられる。この図6(C)から明らかなように、合成された光量分布ISの像(合成像と呼ぶ)は、周期性をもつパターンPAと周期性をもたない(孤立した)パターンPBとのいずれにおいても遮光部となっている部分(ラインパターンPA<sub>1</sub>)のみが十分に暗く、他の部分は全て最小露光量E<sub>t</sub>h以上に明るくなっている。従ってポジ型レジストの場合には、図6(D)のように現像によって最小露光量(スレッシホールド値)E<sub>t</sub>h以下の部分が残膜した孤立ラインパターンPrとなる。この孤立ラインパターンPrが図5(A)中のラインパターンPA<sub>2</sub>に対応していることは明らかである。

【0045】以上の実施例では、周期性のパターンPA

14

\*ストラップへの露光量(ドーズ量)は、一例としてレジスト層が現像時に完全に除去される最小露光量E<sub>t</sub>h(又は膜減りが開始される最小露光量E<sub>c</sub>)よりも大きくなるように設定される。図6(A)は1回目露光によってポジ型レジスト層に与えられた露光量の分布(強度分布と相似)IAを断面方向で表したものである。図6(A)の縦軸は露光量を表し、横軸はパターンPAの周期方向での位置を表す。

【0043】ここで具体的な数値例をあげてみる。今、10 ウェハW上に形成すべきラインパターンPA<sub>1</sub>の線幅を $0.3\mu m$ (ピッチ $0.6\mu m$ )、露光用照明光の波長λを $365 nm$ (i線)、そして投影レンズPLの縮小倍率を $1/5$ とすると、回折角の理論式から、照明光学系内の1つの射出部から発生してレチクルRを照明する光束の入射角φは、図16で説明したように次式で表される。

$$\sin 2\phi = \lambda / 5 \cdot P = 0.365 \times 10^{-6} / (5 \times 0.6 \times 10^{-6}) \\ \approx 0.122$$

の解像度を従来の露光方法に比べて、1.5～2倍程度20 に高めることが可能であり、同時に周期性パターンPAの転写像(潜像)から孤立パターンのみを残すように、別のパターンPBで2重露光するため、最終的にウェハW上に形成されるレジストパターンは極めて微細な孤立パターンとなる。先に述べた通り、非周期性のパターンPBの幅D<sub>b</sub>は周期性パターンPAの1本のラインパターンPA<sub>1</sub>の幅(ピッチ/2)に対して2～3倍程度がよい。周期性パターンPAの1本のラインパターン(PA<sub>1</sub>)の幅が従来の解像度の $1/2$ ～ $1/1.5$ であるとき、非周期性パターンPBの幅は、従来の解像限界の2倍程度30 となり、パターンPBの投影に関しては十分な焦点深度が得られる。

【0046】尚、ポジ型レジストの場合は、露光量と残膜厚の関係が図17(A)に示すようになるが、ネガ型レジストの場合は、図17(B)に示すようにレジストが完全に除去される最大露光量E<sub>c</sub>とレジストが完全に残膜する最小露光量E<sub>t</sub>hとが決められる。このため、ネガ型レジストを使って図5(A)、図5(B)の露光を行うと、従来よりも1.5～2倍程度微細な孤立スペースパターンを形成することができる。

【0047】図7及び図8は、共に、孤立アイランドパターン(ポジ型レジスト使用時)及び孤立ホールパターン(ネガ型レジスト使用時)を形成するためのレチクルパターン例を表す。図7(A)は、投影光学系の解像限界( $0.6 \times \lambda / NA$ )程度以下に微細な遮光パターンPA<sub>n</sub>が左右に3列、上下に3行の計9個が周期的に並び、かつ遮光パターンPA<sub>n</sub>の中間に、遮光パターンPA<sub>n</sub>より微細な遮光パターンPA<sub>s</sub>が配置されたものである。この図7(A)の周期パターンのうち、実際にウェハW上に形成すべきレジストパターンは、中央の遮光パターンPA<sub>s</sub>である。

(11)

(9)

特開平4-355910

15

【0048】一方図7 (B) は、上記の遮光パターンP Anより、上下方向、左右方向、ともに2~2.5倍程度大きな遮光パターンPBを表わす。ここで、9個の遮光パターンP Anはいずれも正方形とし、左右方向、上下方向のスペース幅は、パターンP Anの幅と等しいものとする。さらに中央の遮光パターンPA: を左右で挟み込む遮光パターンP Anの間隔をD ax、遮光パターンPA: を上下で挟み込む遮光パターンP Anの間隔をD ayとすると、図7 (B) の遮光パターンPBの左右方向の幅D bxは、 $D bx < D ax$ であり、上下方向の幅D byは $D by < D ay$ である。

【0049】図7 (A) の周期性パターンの投影像も図6の場合と同様に、その周期性の為に、従来に比べて高い解像度と、深い焦点深度をともなって露光される。一方、図7 (B) のパターンPBの投影像も十分な大きさを持つ為に、やはり深い焦点深度をともなって露光される。従って、2重露光による合成像により形成される孤立アイランドパターンPS5 (ポジ型レジスト使用時) は、図7 (C) に示すようにやはり十分な焦点深度を持って形成されることとなる。この周期性パターンP Anと、パターンPBとの重ね合わせは、9個の遮光パターンのうち中心の遮光パターンPA: と、パターンPBの中心が一致するようにレチクルRとウェハWをそれぞれ位置合わせして多重露光するものとする。周期性パターンP Anと、非周期性パターンPBとのいずれもが遮光部となる部分(PA:) でのみ、レジストが残膜する理由は図6に示す例と同様である。

【0050】なお、非周期的パターンPBの四隅は小さい方の周期的パターンP Asと重ね合わせにより合致するように配置されている。このため複数のレチクルパターンの重ね合わせでいずれもが遮光部の状態となるが、周期的パターンP Asは解像限界に比べ十分小さく、ウェハW上の投影像において十分な遮光効果を与えることはない。その結果、周期的パターンP Asと非周期パターンPBとの合致部にレジストパターンは形成されない。周期的パターンP Asは、形成すべき孤立アイランドパターンPS5の形状を、より正方形に近づけるための補助的なパターン(コーナ強調)であり、従って周期的パターンP Asがなくとも、孤立アイランドパターンPS5の形成は可能である。

【0051】図8 (A) は、同図中左右方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンPA:、PA:、PA:を示し、図8 (B) は同図中上下方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンPB:、PB:、PB:を示す。これら2つのパターンの斜線部はいずれも遮光部を表わす。これら2つの周期性パターンPA、PBはいずれも周期的なパターンであり、従っていずれのパターンの露光に於いても本発明の特徴である高解像度、及び大焦点深度を得ることができる。この2つのパターンPA、PBの重ね合わせ露光による合成像(レジ

スト像)が図8 (C) に示す孤立アイランドパターンPS6となる。ここで、周期性パターンPAの左右のラインパターンPA:とPA:の間隔をD axとし、3本のラインパターンPA:、PA:、PA:の長さをともにD ayとすると、他方の周期性パターンPBの上下のラインパターンPB:とPB:の間隔D byは、 $D by > D ay$ に設定され、3本のラインパターンPB:、PB:、PB:の長さD bxは、 $D bx < D ax$ に設定される。そして、ウェハW上に形成すべきレジストパターンは、ラインパターンPA:とPB:の交差によってできる正方形部分である。この重ね合わせ露光においては、周期性パターンPAの中心と周期性パターンPBの中心がウェハW上の同一点でそれぞれ一致するように多重露光を行なう。なお、レジスト像として必要なのは、各3本の遮光ラインパターンの中心のラインパターンPA:、PB:の交差部のみなので、他の部分で遮光部が重なり合わないように、各ラインアンドスペースの長さ(長辺側寸法)は、幅(短辺側寸法)の3倍より短かい程度とする。あるいは各ラインアンドスペースパターンの長さをこれより長くし、これにより発生する不必要的遮光部の重なりに対して、さらに図7 (B) のパターンPBと同等のパターンを用意して重ね合わせ露光により、これを除去してもよい(不必要的遮光部はこれにより露光される。)。このことについては後で実施例として詳しく述べる。

【0052】以上、図7、図8を用いて、孤立アイランドパターンの形成例について説明したが、これはポジ型レジストの使用を前提としたものである。ネガ型レジストを使用すれば同様の方法により、孤立ホールパターンの形成が可能である。また、以上の図6、図7、図8において、周期的パターンの例として3本のラインパターン、あるいは3行、3列のドットパターンを挙げたが、周期的パターンを構成するライン、又はドットの個数はこれに限ったものではなく、5本、あるいは7本等、または5行5列等、任意でよい。また、周期的パターンの透光部と遮光部の線幅比(デューティー)は、1:1に限らず任意でよい。ただし、遮光部の線幅を、透光部の線幅に対して2割程度大きくしたもののが、実験的によりよい結果を得られることがわかった。

【0053】また、周期的パターンの周期性は、それ程厳密である必要はない。例えば周期的パターンを形成するパターン、すなわち3本ラインであれば両端の2本は、中心部のパターンより細くなっていても良い。以上、本発明により重ね合わせ露光(多重露光)される様々なパターンの実施例について述べたが、それらを応用した実際の各レチクルパターンのレチクル上での位置関係、及び重ね合わせ方法の実施例について図9、及び図10を用いて説明する。図9は一例として先の図5、図7、図8の夫々に示したパターンPAとパターンPBとの両方を一緒に描画したレチクルRのパターン配置図で

(12)

(10)

特開平4-355910

17

ある。このレチクルRはIC製造プロセス中のコンタクトホール形成に使われるものである。図9において、レチクルRのパターン形成領域は遮光帯SBで囲まれており、その外側にはレチクルアライメント用のマークRM<sub>1</sub>、RM<sub>2</sub>が形成されている。パターン領域内には、黒の正方形ドットで表したパターンPAと白の正方形ドットで表したパターンPBとが規則的にX、Y方向に配列される。そしてこれらパターンPA、PBの周辺は全て光透過部となっている。このレチクルは、2つのパターンPA、PBの重ね合わせ露光をネガレジストに対して行うことによって孤立ホール（コンタクトホール）パターンが形成されるものとする。メモリーICにおいては、一般的に単位メモリーセルが規則的に（周期的に）配列してメモリーセル群を形成している。従って、各メモリーセルに対応するコンタクトホールもまた、周期的に配列されている。図9においても、パターンPAとパターンPBの各中心は、いずれもX方向のピッチがPx、Y方向のピッチがPyで配列されており、かつパターンPBは、パターンPAと、それぞれ（Px/2、Py/2）離れたところに形成されている。

【0054】このようなレチクルRを使用して、先ずウェハW上に適性露光量E<sub>t h</sub>以上で第1の露光を行う。従ってウェハ表面のレジストには、各パターンPA、PBに応じた光量が露光される。続いて、レチクルRとウェハWとのX、Y方向での相対位置を、ウェハステージWST、又はレチクルステージRS<sub>T</sub>によって（Px/2、Py/2）（レチクル上寸法）だけ移動させてから適性露光量E<sub>t h</sub>以上で第2の露光を行う。図9の場合は右斜め上に動かす。この移動は図1に示した装置の場合、ウェハステージWSTの駆動用のモータ20、干渉計21、及び制御装置30で行われる。

【0055】前述のとおり、パターンPAとパターンPBとの距離は、（Px/2、Py/2）であったから、上記第1と第2の露光により、ウェハW上において、パターンPAとパターンPBは重ね合わせ露光されることになる。尚、図9のレチクルパターン配置から明らかのようにパターンPAとパターンPBとをウェハW上で精密に重ね合わせる相対移動方向は4方向に存在する。すなわち図9の紙面内でレチクルR、又はウェハWを斜め右上、斜め左上、斜め右下、及び斜め左下のいずれか一方方向に移動させることができる。どの方向に相対移動を行うかは任意に設定できる。また図9のパターン配置の場合、パターン形成領域内の最外周に位置するパターンPA（黒の正方形）のうち、Y方向の一辺に並ぶ列とX方向の一辺に並ぶ列に存在する各パターンPAは、パターンPBと2重露光されることはなく、残照することになる。この残りパターンはコンタクトホールパターンとしては不完全なものであるから、レジスト像として形成されないことが望ましい。そこで図9中の最外周のパターンPAの並びと遮光帯SBとの間に幅Px、Py程度

10 (10)

18

の余白（透明部）を設けておくとよい。このようにすると、その余白部が最外周のパターンPAの像と2重露光され、不要な残りパターンの形成を防止することができる。

【0056】以上のようにして、ネガレジストを用いた場合、ウェハW上には図7（C）のレジストパターンPS<sub>5</sub>、又は図8（C）のレジストパターンPS<sub>6</sub>のようなコンタクトホールが、X、Y方向にピッチPx/2M、Py/2M（ただし1/Mは投影倍率）で形成される。このようなコンタクトホールパターンは周期性はもつものの、各ホールパターンが離散的に配置しているため、実質的には孤立パターンと考えてよく、図1に示した露光装置に、従来通りのコンタクトホール形成用のレチクルパターンを設定して露光しても、十分な解像が得られない。

【0057】図10は、図9のレチクルパターンを、図8に示したパターンPAとパターンPBで構成した場合の2重露光の様子を表したものである。X方向に周期性をもつパターンPAとY方向に周期性をもつパターンPBとの2重露光によって、コンタクトホールとなるレジストパターンPS<sub>6</sub>が形成される。同図中、破線で示したパターンPA、PBは1回目の露光によるもので、実線で示したパターンPA、PBは2回目の露光によるものである。

【0058】図11は、多重露光すべきレチクルパターンの別の位置関係を示す実施例である。本実施例では、レチクルRとウェハWとを2回ずらして3回の重ね合わせ露光を行うものとする。先の図8、又は図10に示したように、回折光の発生しやすい周期性パターンPA、PBを使う場合、回折効率から考えると、各パターンPA、PBのラインアンドスペースの繰り返し数は極力多い方が好ましい。そこで3つのパターンPA、PB、PCを同一レチクル上に形成する。パターンPAはX方向に周期性を有するデューティほぼ1:1の回折格子状に形成され、その遮光ラインパターン（斜線部）は5本としてある。パターンPBはY方向に周期性を有するデューティほぼ1:1の回折格子状に形成され、その遮光ラインパターン（斜線部）は5本としてある。ここでパターンPAの中心とパターンPBの中心とはY方向に△Yだけ離れ、3番目のパターンPCの中心は、パターンPBの中心から距離△XだけX方向に離して形成された正方形の遮光部（斜線部）である。またパターンPCの周辺の領域ABは2つのパターンPAとPBを重ね合わせたときの形状、及び面積とほぼ等しい。また各パターンPA、PB、PCの周辺はいずれも透明部分である。コンタクトホールパターンの形成にあたっては、パターンPAの中央の遮光ラインパターンとパターンPBの中央の遮光ラインパターンとの重ね合わせによる正方形の重複部が使われる。パターンPCは、パターンPAとPBの重ね合わせによって生じた不要な重複部（潜像）を消

30 30 40 40 50  
0. 千歩計21、及び制御装置30で行われる。  
B 2と2重露光によって、コンタクトホールとなるレジストパターンPS<sub>6</sub>が形成される。同図中、破線で示したパターンPA、PBは1回目の露光によるもので、実線で示したパターンPA、PBは2回目の露光によるものである。  
B 0.58】図11は、多重露光すべきレチクルパターンの別の位置関係を示す実施例である。本実施例では、レチクルRとウェハWとを2回ずらして3回の重ね合わせ露光を行うものとする。先の図8、又は図10に示したように、回折光の発生しやすい周期性パターンPA、PBを使う場合、回折効率から考えると、各パターンPA、PBのラインアンドスペースの繰り返し数は極力多い方が好ましい。そこで3つのパターンPA、PB、PCを同一レチクル上に形成する。パターンPAはX方向に周期性を有するデューティほぼ1:1の回折格子状に形成され、その遮光ラインパターン（斜線部）は5本としてある。パターンPBはY方向に周期性を有するデューティほぼ1:1の回折格子状に形成され、その遮光ラインパターン（斜線部）は5本としてある。ここでパターンPAの中心とパターンPBの中心とはY方向に△Yだけ離れ、3番目のパターンPCの中心は、パターンPBの中心から距離△XだけX方向に離して形成された正方形の遮光部（斜線部）である。またパターンPCの周辺の領域ABは2つのパターンPAとPBを重ね合わせたときの形状、及び面積とほぼ等しい。また各パターンPA、PB、PCの周辺はいずれも透明部分である。コンタクトホールパターンの形成にあたっては、パターンPAの中央の遮光ラインパターンとパターンPBの中央の遮光ラインパターンとの重ね合わせによる正方形の重複部が使われる。パターンPCは、パターンPAとPBの重ね合わせによって生じた不要な重複部（潜像）を消

(13)

(11)

特開平4-355910

19

去するためのものである。

【0059】このようなレチクルを使用し、ウェハに対して第1の露光を行った後、その第1の露光位置から、レチクルRとウェハWとの各面内方向の相対的位置をレチクル上で(0, +ΔY)だけずらして第2の露光を行う。その後、第1の露光位置から、レチクルRとウェハWとの各面内方向の相対位置をレチクル上で(-ΔX, -ΔY)だけずらして第3の露光を行う。

【0060】図12は、図11中のパターンPAとパターンPBとを重ね合わせ露光したときにネガレジスト上に形成される潜像PA'、PB'の様子を示したものである。図12中、破線は各パターンの潜像のエッジを表し、黒く塗り潰した複数の孤立領域は2回の重ね合わせ露光によって全く露光されなかつた未露光部分を表す。これら複数の孤立領域のうち、中央の正方形パターンPS8は、3回目のパターンPCとの重ね合わせ露光によっても未露光のままであり、パターンPS8の周辺に位置する他の未露光の孤立領域は、パターンPCの周囲の透明部(領域AB)によって完全に感光される。従って最終的にウェハW上には正方形のパターンPS8のみが形成される。ネガレジストの場合、現像によってパターンPS8の部分が除去され、その周辺のレジストはほぼ完全に残膜した状態になるため、先の図10で説明したのと同様に、コンタクトホールパターンが形成される。

【0061】図13は、図11に示した1組のパターン配列の複数を規則的にレチクルR上に形成してコンタクトホールパターンを作る場合の一例を示すものである。図13中、図11のパターンPAは○印で表し、パターンPBは□印で表し、パターンPCは△印で表してある。このようなレチクルRを用いて、同様にウェハWとの相対位置ずらしを2回行い、3回の重ね合わせ露光を行うと、ウェハWのレジストにはX方向のピッチがΔX、Y方向のピッチがΔYのコンタクトホールパターン群が形成される。

【0062】以上の図11、又は図13においては、レチクル中に形成するパターンをPA、PB、PCの3個としたが、数はこれに限定されるものではなく、2個、4個等のパターンを作成しておき、各2回、4回の重ね合わせ露光を行なってもよい。また、パターンPA、PB、PC等のパターン群を1ブロックとして、それが複数ブロック存在していてもよい。

【0063】また、図5、図7、図11に示したように、孤立したホールパターンのみを重ね合わせ露光で形成する場合は、第1の露光、第2の露光、又は第3の露光での照射光量(露光量)は、2回、又は3回共等しくなってもよく、むしろ各露光毎に異なっていることが望ましい。例えば、周期的パターン(PA、PB)の露光時には、非周期的パターン(PC)の露光時より照射光量を大きくするとよい。前述の図1に示す露光装置においてはこの照射量の制御は、制御装置30及びシャッタ

20

3、及び照射量計(不図示)により行なう。制御装置30は現在行なわれている露光が上部の第nの露光であることを認識し、前述の照射量計からの出力信号に応じて照射光量を求め、それが目標値に達したときに露光停止の指令をシャッタ3の駆動モータ4へ送る。なお、図9、図10、図13に示したように、同一レチクル上にパターンPA、PB(又はPC)の組が規則的に複数設けられる場合は第1の露光と、第2の露光、又は第3の露光での照射光量は同一とすることが望ましい。

10 【0064】以上の各実施例で説明した方法でレチクルとウェハとの相対位置の移動を実現する場合、図1の装置では、ウェハーステージWSTが、制御装置30の指示により、前述の第1と第2の露光の間に、あるいは第2と第3の露光の間に移動するものとした。あるいは、他の方法としてレチクルRを保持するステージRSTが移動しても、両方のステージが移動してもかまわない。ただし、現実の投影型露光装置の多くは、既に2次元移動するウェハーステージを有しており、これによりステップアンドリピート、あるいはステップアンドスキャン露光を行なっており、従って、ウェハーステージWSTのみを干渉計21による計測座標値に基づいて移動する方法は、従来の装置においても、最も簡単に実現できるものである。

【0065】図14は、本発明による露光方法に用いられるレチクルのほぼ全面を表わす図である。図14中に示す投影レンズPLの有効エリア円91内、すなわち投影光学系の解像度及びディストーション、照度均一性等の諸性能が良好に保証される領域に内接するように、レチクルパターンエリア(パターン形成領域)92が存在する。従来の露光方法においてはこのレチクルパターンエリア92内のすべてに回路パターンを描画し、かつウェハWへ露光転写可能であった。しかしながら、本発明に於いては、例えば図9、図10に示す如く、第1露光と第2露光に於いて、レチクルとウェハとの相対位置関係が異なっている。図14に於いては、第1の露光に使用されるエリアは破線93内となり、第2の露光に使用されるエリアは2点鎖線94内となる。

【0066】従って、第1、第2の露光に、共に使用される領域(斜線部)が本発明を使用したときにおける有効なレチクルパターンエリアとなり、従来のものより減少することとなる。ただし、例えば現在のステップアンドリピート式投影型露光装置に於いては、図14に示すようにレチクルパターンエリア92の大きさ(X<sub>o</sub>、Y<sub>o</sub>)は、共に100mm前後(レチクル上寸法)であり、また、図9、図10に示す、第1の露光と第2の露光との相対的位置ずれ量(Px/2、Py/2)は、ほぼメモリーセルサイズと等しく、レチクル上の寸法で10μm前後である(図14中のΔX、ΔY)。

【0067】従って、従来のレチクル有効エリア100,000μm×100,000μmに対して本発明に

(14)

(12)

21

於いては

$(100,000 - 2 \times 10) \mu\text{m} \times (100,000 - 2 \times 10) \mu\text{m}$ となる。この値の比は、 $1 : 0.9996$ であり、従って、本発明により減少するレチクルバターン有効エリアは、従来の場合の面積のわずかに0.04%程度に過ぎないことになる。

【0068】なお、図14に於いては、特に投影光学系の有効エリアが円形であるステップアンドリピート型の投影型露光装置について示したが、他の投影型露光装置、例えばステップアンドスキャン型の露光装置であっても同様であり、減少するレチクルバターンエリアの面積はやはり微少である。以上の各実施例で、図1に示した装置を使う場合、レチクルRとウェハWとの相対位置を $(\Delta X, \Delta Y)$ だけずらす手法の1つとして、各アライメント系22~25におけるマーク検出中心を光学的(平行平板ガラスの傾斜)、又は電気的にオフセットさせ、オフセットしたマーク検出中心に対してレチクルRのマーク、又はウェハWのマークを追い込むように、レチクルステージRST、又はウェハステージWSTをサーボ制御してもよい。さらに、今までの説明ではレチクルRとウェハWのうちいずれか一方を $(\Delta X, \Delta Y)$ だけシフトさせるとしたが、レチクルRとウェハWの両方を逆方向、又は同一方向にシフトさせててもよい。等倍投影光学系で鏡像投影を行う装置では、レチクルとウェハを光軸に対して逆方向に同一距離だけシフトさせることは意味がないが、逆方向に異なる距離で、もしくは同一方向にレチクルとウェハを移動させると同様のシフトが可能である。また縮小投影光学系(鏡像投影)の場合には、投影倍率を $1/M$ としたとき、レチクルの移動量に対してウェハの移動量が $1/M$ で逆方向にシフトさせることは意味がないが、それ以外の移動量比によるシフト方法(同一方向の移動も含む)であれば、同様の位置ずらしが可能である。また縮小投影の場合は、レチクルRとウェハWとは装置上で静止したままにして、投影光学系のみを光軸AXと垂直な方向に平行移動させても、同様に投影像とウェハとの相対的な位置ずらしができる。

【0069】

【発明の効果】以上の様に本発明によれば、1枚の原版(マスク)中の異なる場所に設けられた1つの周期性バターンと別のバターンとを重ね合わせ露光し、かつ、特殊な照明光学系を有する投影型露光装置を使用することにより、従来では実現の難しかった微細バターン、特に微細孤立バターンの露光転写が可能となる。

【0070】また、本発明は多層露光すべき複数のバターンを別々のマスクに形成するのではなく、一枚のマスク上に形成する為、それだけスループットが高い。同時にマスクの製造コストも低減される。また、重ね合わせ

特開平4-355910

22

られる複数のバターンは、同一マスク中の近接した位置であるため、マスク製造誤差による重ね合わせずれの量は極めて少なくすることができる。また、同一マスクに重ね合わせるバターンが存在するため、アライメント誤差に起因する重ね合わせ誤差は発生しない。

【0071】また、本発明で使用するマスクは、透過率のみの情報を持つ通常のマスクであり、位相シフターを設ける必要がないといった利点がある。

【図面の簡単な説明】

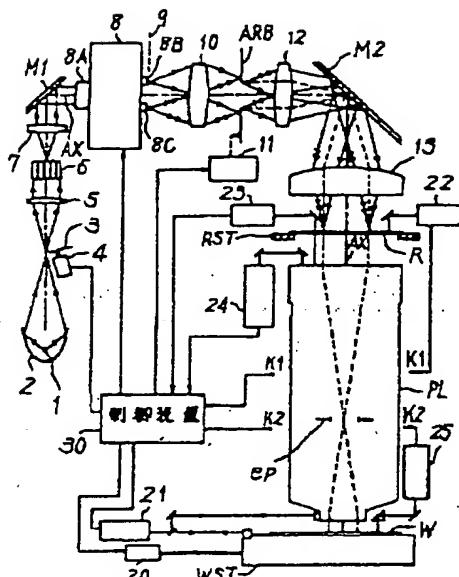
- 10 【図1】本発明で使用する投影露光装置の全体構成を示す図、  
 【図2】図1の装置の照明系を模式的に表した光路図、  
 【図3】光分割器の構成を示す側面図、  
 【図4】光分割器の構成を示す正面図、  
 【図5】本発明の露光方法の原理及び動作を説明する斜視図、  
 【図6】図5の露光方法によって得られるバターン露光時の光量分布を説明する図、  
 【図7】本発明の他の実施例によるレチクルバターンの組合せを説明する図、  
 20 【図8】本発明の他の実施例によるレチクルバターンの組合せを説明する図、  
 【図9】図8に示したレチクルバターンを設けたレチクルのバターン配置図、  
 【図10】図9のレチクルを使ったときの多重露光の様式を示す図、  
 【図11】本発明の他の実施例によるレチクルバターンの配置を示す図、  
 【図12】図11のレチクルバターンを多重露光としたときの様子を示す図、  
 30 【図13】図11のレチクルバターンを実際のレチクル上に配列する場合の一例を示す図、  
 【図14】本発明を使用したレチクル上のバターン有効領域を説明する図、  
 【図15】従来の投影露光装置の構成、及び露光状態を説明する図、  
 【図16】本発明で使用する露光装置の原理を説明する図、  
 【図17】レジスト層への露光量と残膜厚との関係を示すグラフである。  
 【符号の説明】  
 1…光源、3…シャッター、8…光分割器、8B~8E…射出部、9…フーリエ変換面、20…モータ、21…干渉計、30…制御装置、R…レチクル、W…ウェハ、PL…投影光学系、RST…レチクルステージ、WST…ウェハステージ、PA…第1の周期性バターン、PB…第2のバターン、PC…第3のバターン

(15)

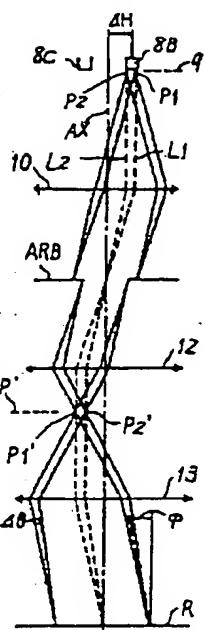
(13)

特開平4-355910

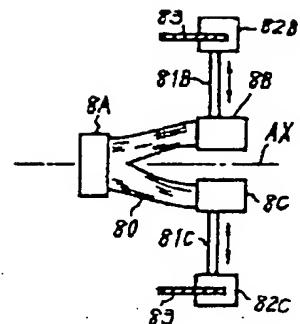
[圖 1]



[图2]

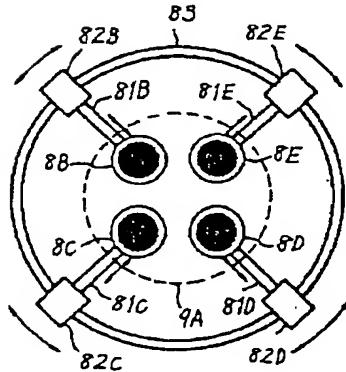


[图 3]



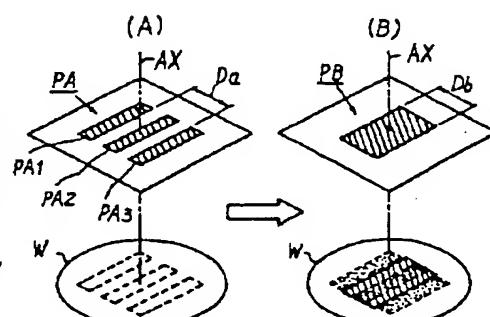
[4]

[图 5]

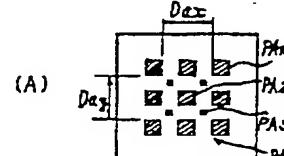


[图 12]

[图13]

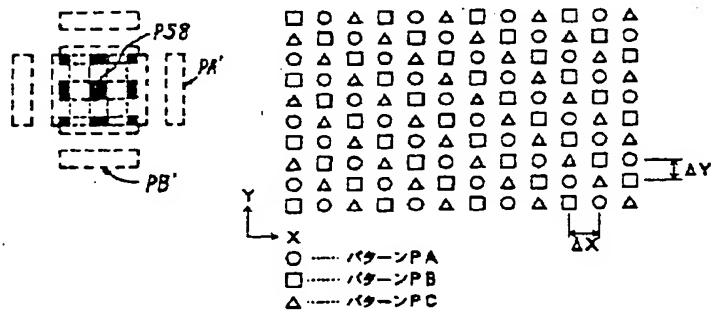


[图 7]



A diagram of a dam cross-section. The top part shows a horizontal force  $Dx$  acting downwards on a small vertical strip of width  $dx$ . The bottom part shows a wavy water surface with a shaded rectangular area representing a differential element of width  $dx$  at a depth  $y$  from the base.

(C)  PSS

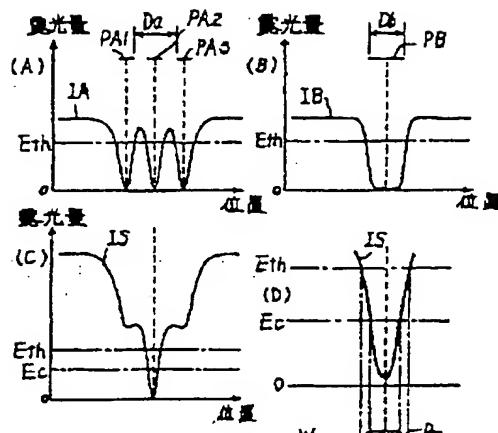


(16)

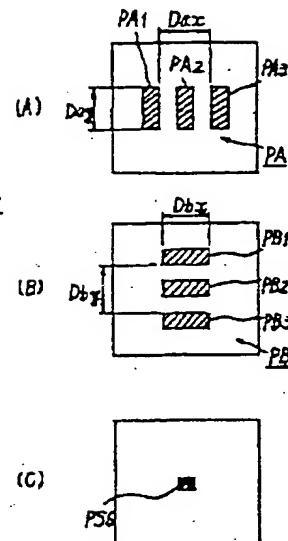
(14)

特開平4-355910

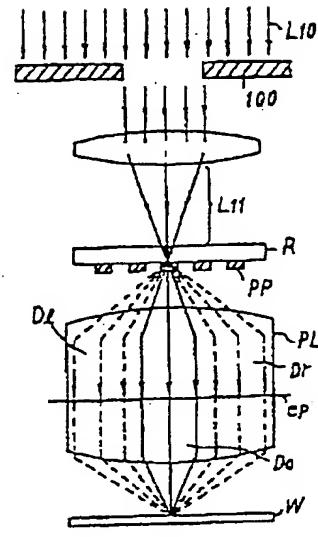
【図6】



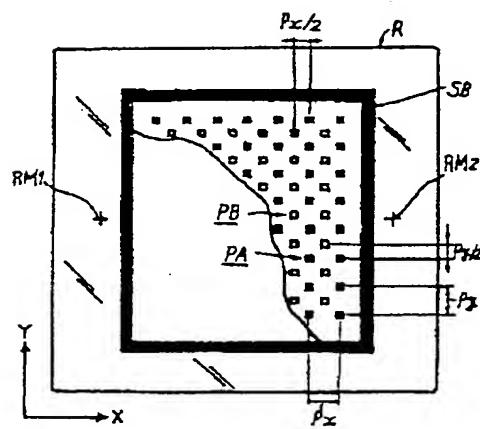
【図8】



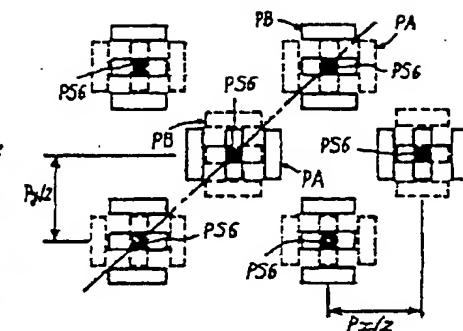
【図15】



【図9】



【図10】

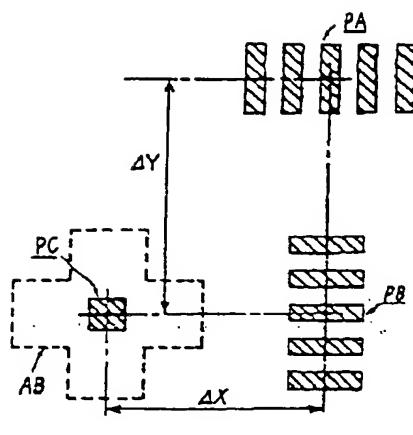


(17)

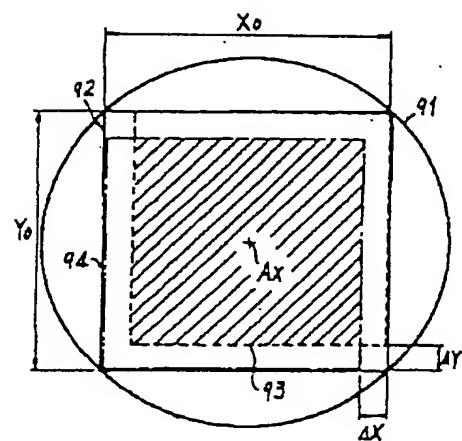
(15)

特開平4-355910

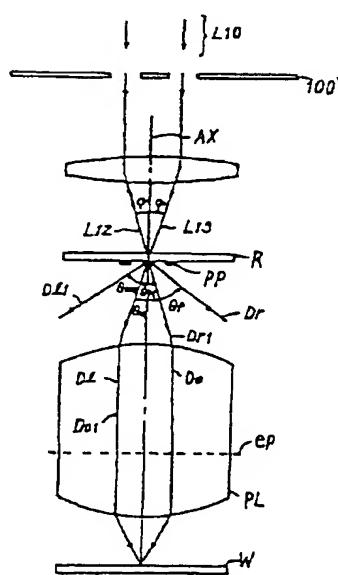
【図11】



【図14】



【図16】



【図17】

